

СТРУКТУРА И СВОЙСТВА Zn-ПОКРЫТИЙ РАЗНОЙ ТЕХНОЛОГИИ НАНЕСЕНИЯ НА ТРУБНЫЕ СТАЛИ 30Г2

Чижов И.А., Пачколина П.А., Худорожкова Ю.В.

Руководитель- доцент, д.т.н. Березовская В.В.

Уральский Федеральный университет им. первого Президента России

Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург

e-burg96_polina@mail.ru

В процессе эксплуатации муфты насосно-компрессорных труб (НКТ) подвергаются интенсивной коррозии, коррозионно-механическому износу в паре трения с насосными штангами, что обуславливает их частые отказы или низкую эффективность работы. Опыт эксплуатации НКТ в различных условиях показывает, что одним из перспективных направлений предотвращения указанных процессов является применение защитных покрытий на муфтах для НКТ.

В работе проведены исследования трубной стали 30Г2, обработанной на группу прочности «М». Химический состав стали в мас. %: С 0,28; Si 0,25; Mn 1,70; Cr 0,15; Ni 0,10; Cu 0,06; S 0,037; P 0,035; режим термической обработки и механические свойства стали приведены в табл. 1.

В качестве защитных покрытий использовали цинкование трех видов: гальваническое (ГВЦ), термодиффузионное (ТДЦ) и горячее (ГЦ). Zn-покрытия наносили на муфты НКТ и образцы-свидетели размером 25×10×10 мм, вырезанные из заготовок муфт. Горячее цинкование проводили на предприятии ОАО «Уралэлектромедь» при температуре расплава 450 °С в ванне объемом 72 м³. Состав ванны: Zn – 98%, Pb – 0,56%, Al – 0,003%, Ni – 0,006%. Примеси: Fe < 0,025%, Cd < 0,0012, Sn < 0,001%, Cu < 0,01%).

Таблица 1. Режим термообработки и механические свойства стали 30Г2

Материал		Режим термообработки	Группа прочности	Механические свойства				
№ режима ТО	Марка стали			σ_B , МПа	σ_T , МПа	δ , %	ψ , %	KCU, Дж/см ²
1	30Г2	Закалка от 850°С, 40 мин, вода; отпуск 500°С, 80 мин	М	960	880	14	60	50

Термодиффузионное цинковое покрытие наносили в порошковых смесях на оборудовании «Финишного центра» цеха № 4 ОАО «Первоуральский новотрубный завод». Процесс термодиффузионного цинкования проводили при температуре 380-420°С в атмосфере азота в течение 3,5-4 часов. Гальваническое покрытие было выполнено на ОАО «Уральский завод тяжелого машиностроения» в ванне с электролитом, состоящим из сернокислого цинка – 200 г, сернокислого аммония – 50 г,

уксуснокислого натрия – 15 г и воды – 1000 г. Рабочая температура электролита составляла 20°C, плотность тока – 1,5 А/дм². Микротвердость измеряли на приборе ПМТ-3 при нагрузке 20 и 50 гс в соответствии с требованиями ГОСТ 9450-76.

Для выявления структуры покрытия металлографические шлифы травили в 4% спиртовом растворе HNO₃ и исследовали в световом микроскопе Альтами МЕТ 1, а также на растровом электронном микроскопе Tescan Vega II XMU с системой энергодисперсионного микроанализа Inca Energy 450.

Микроструктура стали 30Г2 после закалки от 850°C в воде и отпуска при 500°C представляла собой сорбит отпуска (рис. 1).

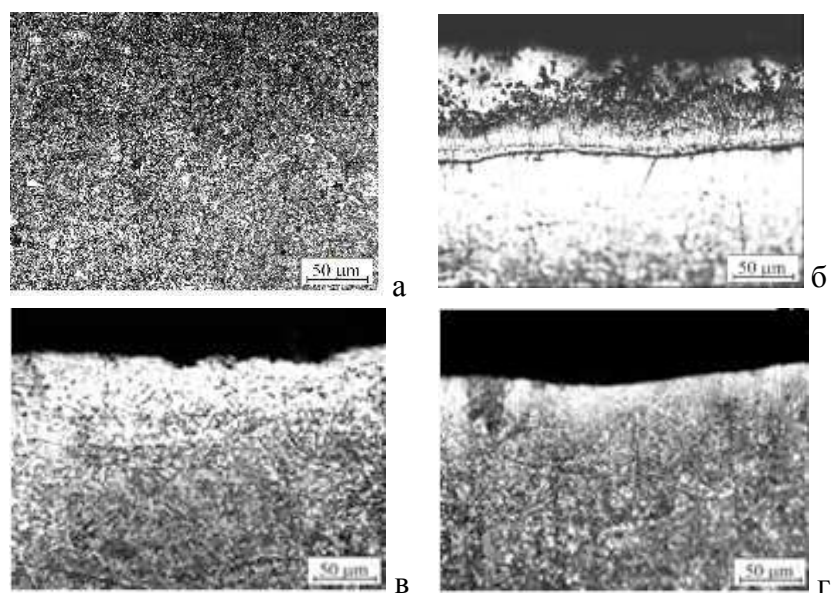


Рис. 1. Микроструктура исследованной стали 30Г2 (а) и покрытий на ней: ГЦ (б); ГВЦ (в); ТДЦ (г)

Структура горячего цинкового покрытия в зависимости от химического состава подложки приведена на рис. 1 а, 2 а, табл. 2. При температуре цинкования в структуре покрытий сформировалось несколько слоев. Зона основного металла, представляющая собой твердый раствор цинка в железе, непосредственно примыкающая к покрытию, содержание которого составило 3,0 мас.%, - это α-фаза. На внутренней поверхности покрытия на границе с α-фазой выявлена Γ-фаза в виде очень тонкого слоя (1-3 мкм), которая содержит 26,83% железа. Далее следовал слой δ-фазы, содержащей от 7,42 до 9,23% железа. Следующий наиболее толстый слой покрытия составляет ξ-фаза, которая имела крупную столбчатую структуру и содержала 6,43% железа. Самый богатый цинком поверхностный слой, η-фаза, представлявший собой твердый раствор железа в цинке (0,17-0,24%Fe), не всегда наблюдался, так как толщина и протяженность его определяется временем цинкования, а в нашем случае

оно составляло всего 15 минут. Таким образом, составы всех слоев соответствуют фазам на диаграмме Fe-Zn.

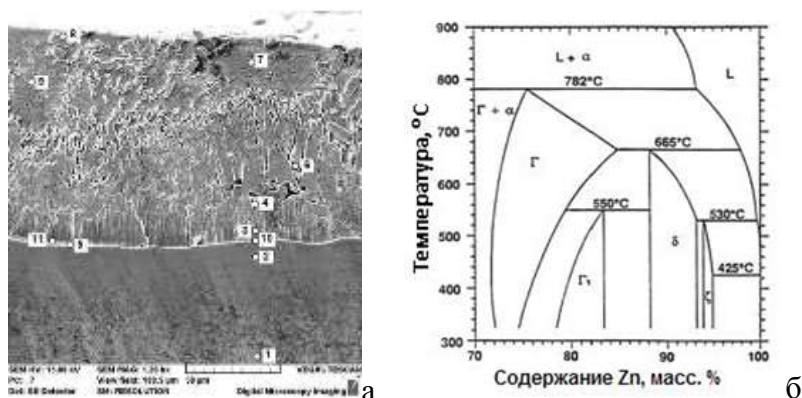


Рис.2. Микроструктура горячего Zn-покрытия на стали 30Г2 (а) и фрагмент диаграммы Fe-Zn (б)

Изучено также влияние вида покрытия на его толщину. Показано, что различие в толщине существенное (табл. 3): у горячего покрытия она составила 137, у гальванического 34, у термодиффузионного – 64 мкм.

Гальваническое покрытие (рис.1в), в отличие от горячего не имеет многофазной структуры. Практика показывает, что при промышленном получении покрытий создаются условия, благоприятные для слоистого роста кристаллов из двумерного зародыша. Причем, при невысоких плотностях тока часто реализуется тангенциальный рост кристаллов, при котором их плоские зародыши ориентированы предпочтительно вдоль поверхности катода-подложки, и в покрытии формируется слоистая структура.

Термодиффузионное покрытие (рис.1г) представляло собой однофазный слой, толщина которого составила 30 мкм.

Микротвердость определяли на поверхности поперечного шлифа образца, начиная от сердцевины к краю через ~ 30 мкм. Результаты измерения микротвердости на поперечных шлифах образцов показали, что более твердым оказалось термодиффузионное покрытие (400 HV0,05), что обусловлено насыщением поверхности стали цинком и выделением интерметаллида $\text{Fe}_3\text{Zn}_{10}$. Исходя из значений твердости и данных работы, термодиффузионное покрытие представляло собой δ_1 -фазу, содержащую 7-12% железа, гальваническое покрытие – η -фазу (40 HV0,05), представляющую собой твердый раствор железа в цинке, а горячее цинковое покрытие 9 (60 HV0,05) – тоже η -фазу, но после старения содержащую ξ -фазу состава FeZn_{13} .

Таким образом, гальваническое покрытие на трубной стали 30Г2 представляет собой твердый раствор железа в цинке (η -фазу) и имеет небольшую твердость, термодиффузионное покрытие состоит из δ_1 -фазы с выделениями $\text{Fe}_3\text{Zn}_{10}$, что обеспечивает ему высокую твердость,

а горячее цинковое покрытия многослойно, а в поверхностном слое η -фаза несколько упрочняется за счет выделения интерметаллида FeZn_{13} .

Таблица 2. Результаты обработки спектров, полученных при микроанализе в точках 1-11 структуры на рис.2

Спектр	Содержание легирующих элементов, масс.% (эксперимент)						Фаза	Содержание Fe, масс. %	Формула	Кристаллическое строение
	O	Si	Mn	Fe	Zn	Итог				
Спектр 1		0.36	1.48	98.16		100.00	основа	100,0	Fe	ОЦК
Спектр 2		0.30	1.32	97.09	1.28	100.00	α	до 95,5	$\text{Fe}(\text{Zn})$	ОЦК-твердый раствор
Спектр 3	1.36			9.23	89.41	100.00	δ_1	11,5-7,0	FeZn_7	Гексагональная гомогенная
Спектр 4	1.33			7.42	91.25	100.00	δ_1	11,5-7,0	FeZn_7	Гексагональная столбчатая
Спектр 5	3.31	0.29		26.83	69.58	100.00	Γ	28,0-21,0	$\text{Fe}_3\text{Zn}_{10}$	ОЦК
Спектр 6	1.37			6.43	92.20	100.00	ξ	6,2-6,0	FeZn_{13}	Моноклинная
Спектр 7	1.26			0.24	98.51	100.00	η	0,028-0,008	—	ГПУ
Спектр 8	1.42			5.66	92.92	100.00	ξ	6,2-6,0	FeZn_{13}	Моноклинная
Спектр 9	0.96			0.17	98.87	100.00	η	0,028-0,008	$\text{Zn}(\text{Fe})$	ГПУ-твердый раствор
Спектр 10		0.29	0.67	47.07	51.98	100.00	Γ_1		$\text{Fe}_5\text{Zn}_{21}$	ГЦК
Спектр 11	2.45	0.25		22.93	74.37	100.00	Γ	28,0-21,0	$\text{Fe}_3\text{Zn}_{10}$	ОЦК
Макс.	3.31	0.36	1.48	98.16	98.87					
Мин.	0.96	0.25	0.67	0.17	1.28					